

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA



Facoltà di Ingegneria  
Corso di laurea in Ingegneria Meccanica  
Tesi di laurea

TITOLO DELLA TESI

STUDIO, PROGETTAZIONE E SPERIMENTAZIONE  
DI UN PROTOTIPO ROBOTICO BIOISPIRATO  
BASATO SUL MODELLO BIOLOGICO DELLA  
LAMPREDA

CANDIDATO

Alessandro Lorenzini

RELATORI :

Prof. Paolo Dario

Ing. Francesca Di Puccio

Dott. Cesare Stefanini

Dott.ssa Arianna Menciassi

DATA DI LAUREA

ARCHIVIO TESI CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

ANNO ACCADEMICO

CONSULTAZIONE

25 Ottobre 2005

53/05

2004/2005

Consentita

# STUDIO, PROGETTAZIONE E SPERIMENTAZIONE DI UN PROTOTIPO ROBOTICO BIOISPIRATO BASATO SUL MODELLO BIOLOGICO DELLA LAMPREDA

di

Alessandro Lorenzini

Tesi proposta per il conseguimento del

titolo accademico di

**DOTTORE IN INGEGNERIA MECCANICA**

presso la

Facoltà di Ingegneria

della

Università degli Studi di Pisa

25 Ottobre 2005

Autore:

Alessandro Lorenzini

Approvata da:

Prof. Paolo Dario

Ing. Francesca Di Puccio

Dott. Cesare Stefanini

Dott.ssa Arianna Menciassi



*Alla mia famiglia per avermi sempre sostenuto  
e alla persona a cui tengo di più, Lisa.*

## Sommario

Questo lavoro di tesi si pone l'obiettivo di progettare un robot biomimetico ispirato alla lampreda marina. Partendo da studi sul sistema di locomozione di questo esempio prototipale di vertebrato e da una analisi del suo comportamento nell'ambiente naturale, si è creato un modello artificiale in grado di riprodurre il sistema muscolare utilizzato per generare il moto, per ottenere un robot capace di compiere movimenti nello spazio. Le dimensioni indicative del prototipo realizzato sono state individuate in funzione di quelle di un normale individuo adulto di lampreda marina. Si è poi suddiviso l'intero corpo in vari segmenti: una parte anteriore non attuata rappresentante la testa, quattro moduli centrali contenenti gli attuatori e una coda finale movimentata dall'ultimo blocco di attuatori.

La lunghezza totale del robot comprensiva della coda e della testa raggiunge circa i 700 mm con un diametro esterno di 64 mm.

Tale robot è costituito da una struttura scheletrica centrale flessibile caratterizzata da un cavo di acciaio del diametro di 0.8 mm avente stessa rigidezza flessionale della notocorda della lampreda, al quale sono stato fissati i moduli. Dentro i moduli centrali sono stati inseriti quattro attuatori che replicano i muscoli agonisti/antagonisti del vertebrato, collegati in serie tra loro allo scopo di ripetere il movimento ondulatorio attraverso il sistema di controllo degli attuatori.

Per questo progetto sono stati utilizzati attuatori elettromagnetici lineari sviluppanti una forza massima di circa 12 N, accoppiati ad un meccanismo in grado di riprodurre artificialmente le contrazioni muscolari. Al momento è stato completato l'assemblaggio del robot e sono state individuate le linee guida necessarie per lo sviluppo successivo della ricerca, rappresentato da sperimentazioni in un ambiente naturale appositamente ricreato.

## Abstract

The target of this work is to investigate the design and development of a biologically based, underwater autonomous robot conceived on the basis of a simple vertebrate, the sea lamprey. By analyzing the central pattern generator and the behaviour of the lamprey in natural environment, an artificial model able to reproduce muscular systems used for motion's generation has been designed and made; in this way the robot can perform 3D movement. Robot's dimensions are defined based on the size of a normal adult sea lamprey. The whole body is segmented and comprises a non-actuated head, four shells with actuators, and a tail actuated by a last block of actuators. Robot's total length is about 700 mm with a diameter of 64 mm.

This robot has a central flexible skeletal structure consisting in a steel cable about 0.8 mm in diameter, with the same flexural stiffness of lamprey's notochord. Muscular modules are linked to this skeleton structure. Actuated modules include four actuators able to reproduce vertebrate's agonistic/antagonistic muscles and they are connected in series in order to reproduce undulatory movements by controlling the power to the actuators.

In this project solenoid actuators have been used, able to artificially imitate muscular contraction thanks also to a dedicated mechanism. They have a large force, up to 12 N. At present robot's assembly is concluded and main guidelines for next experiments in a bio-like environment have been defined.

# Indice

Presentazione del problema .....	9
<b>Capitolo 1 – Introduzione .....</b>	<b>12</b>
1.1 Lampreda marina .....	12
1.2 Stato dell'arte .....	13
1.3 Sistema di locomozione .....	16
<b>Capitolo 2 – Progettazione del robot .....</b>	<b>29</b>
2.1 Presentazione del capitolo .....	29
2.2 Definizione del prototipo .....	30
2.3 Scelta dell'attuatore .....	34
2.4 Definizione del modulo .....	43
2.5 Testa e coda .....	51
<b>Capitolo 3 – Notocorda artificiale, dispositivi di collegamento e involucro     di tenuta .....</b>	<b>56</b>
3.1 Presentazione del capitolo .....	56
3.2 Notocorda artificiale .....	57
3.3 Dispositivo di collegamento tra i moduli .....	61
3.4 Involucro di tenuta .....	67
<b>Capitolo 4 – Attuazione dei moduli e forza in uscita al moto .....</b>	<b>70</b>
4.1 Presentazione del capitolo .....	70
4.2 Attuazione dei moduli .....	71
4.3 Meccanismo di modifica della forza in uscita agli attuatori .....	74
<b>Capitolo 5 – Sistema di controllo e ideazione della sperimentazione .....</b>	<b>93</b>
5.1 Presentazione del capitolo .....	93
5.2 Sistema di controllo .....	94
5.3 Torrente artificiale .....	100
<b>Capitolo 6 – Conclusioni e sviluppi futuri .....</b>	<b>102</b>
Bibliografia .....	104
Ringraziamenti .....	107